Technische und wirtschaftliche Analyse des Einsatzes von Kompensationsanlagen im Übertragungsnetz zur Wahrung der stationären Spannungsstabilität

Florian Bennewitz, Fabian Zimmermann, Sebastian Weck, Christina Fuhr, Jutta Hanson

Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien, TU Darmstadt

15. Symposium Energieinnovation, 14.-16.02.2018, Graz/Austria

Agenda

- Motivation
- Vorgehensweise
- Technische Grundlagen
- Wirtschaftliche Grundlagen
- Bewertungsmethodik
- Verwendetes Netzmodell
- Untersuchungen
- Fazit & Ausblick

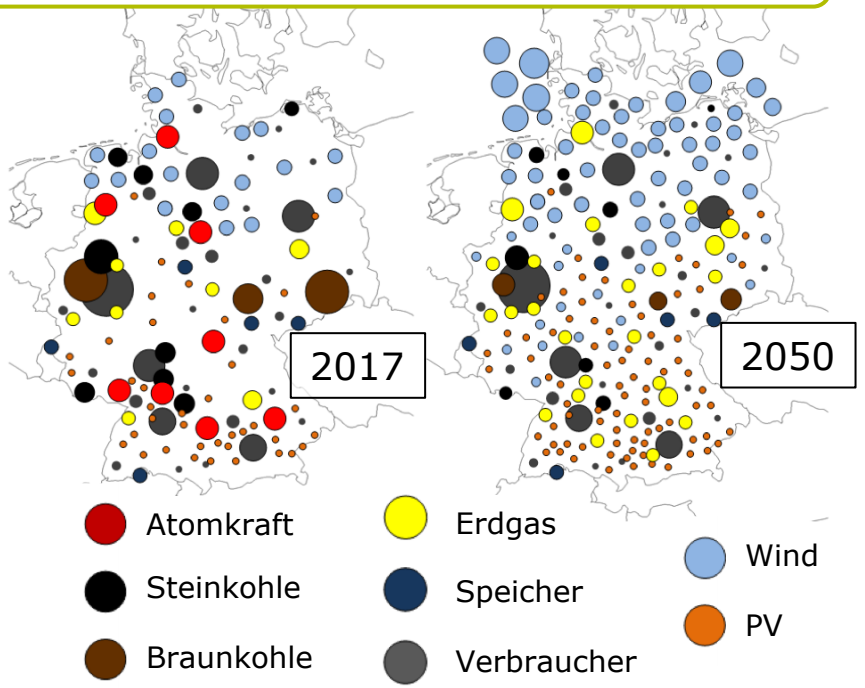
Motivation

Fokus auf ortsabhängigen Primärenergiedargebot der Erneuerbaren Energien

<u>Auswirkungen:</u>

- Steigende Übertragungsentfernungen
- Verdrängung konventioneller KW

Erbringung Systemdienstleistungen muss erweitert & flexibilisiert werden

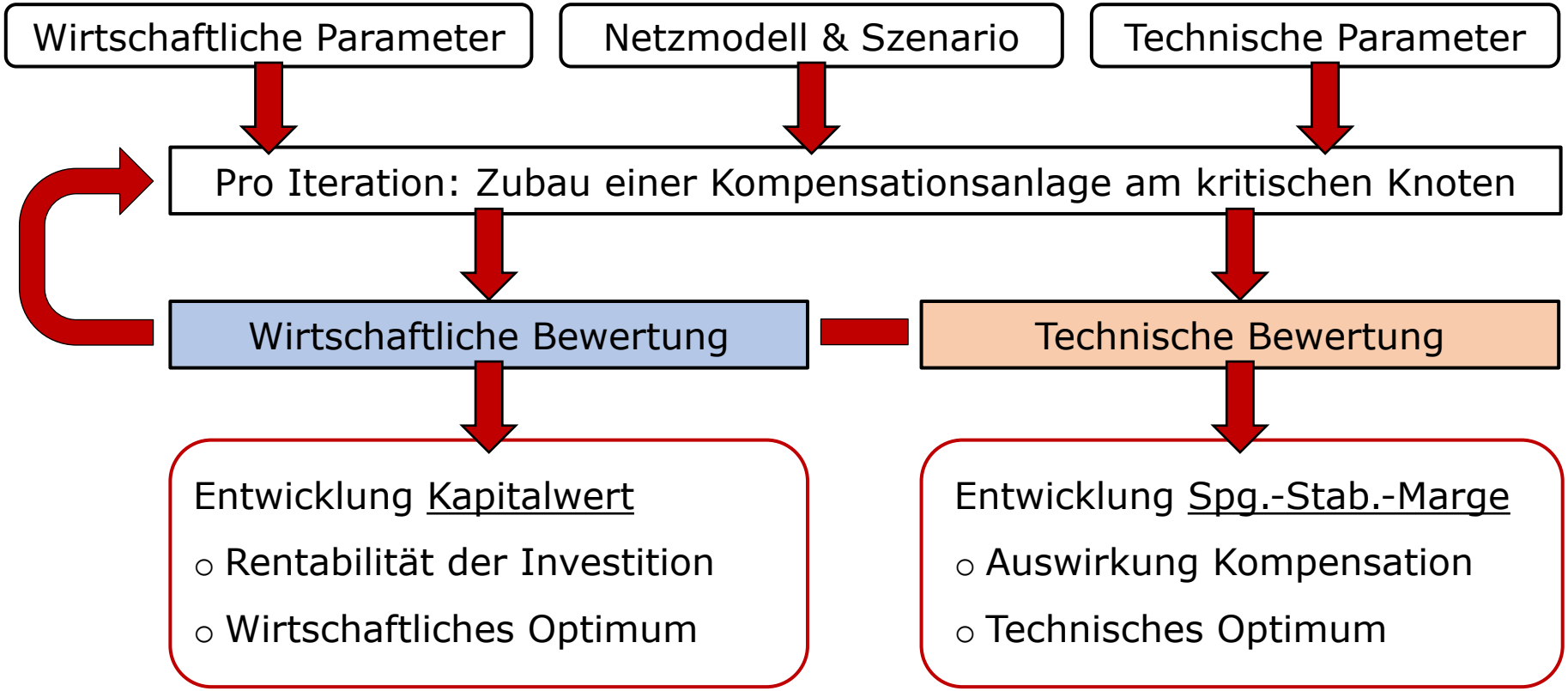


Möglich: Anreize für Bereitstellung Blindleistung → Kompensationsanlagen

Vorgehensweise

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Iterative Berechnung von Bewertungskriterien zwecks Vergleich:



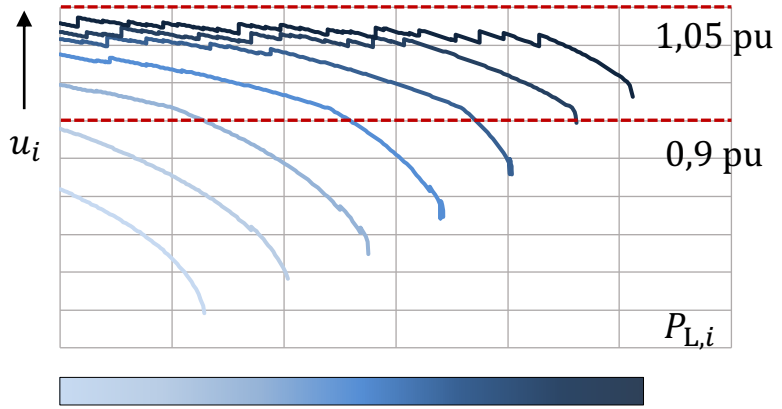
Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

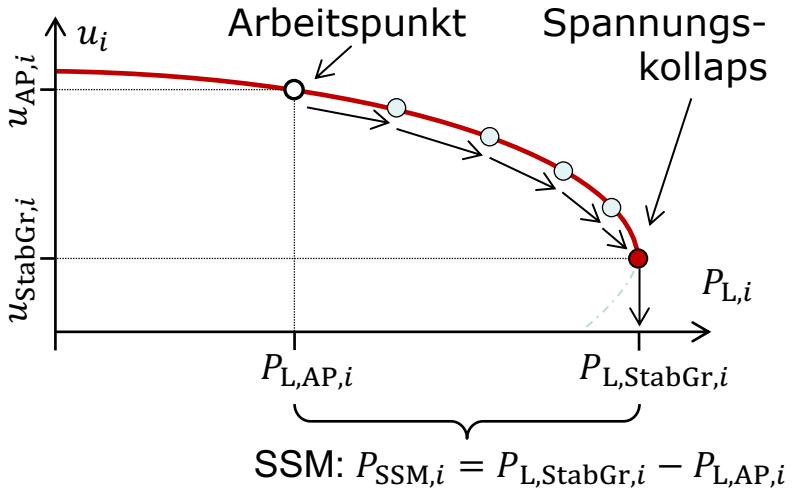
Technische Grundlagen

Klassische Definition Spannungsstabilität: Knotenspannungen im Toleranzband

Lokaler Blindleistungshaushalt

→ Spannungskollaps





Spannungshaltung vs. Spg.-Kollaps

Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

Wirtschaftliche Grundlagen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vorbereitung von Investitionsentscheidungen: Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Hier: Kapitalwertmethode – Wert einer Investition,
hier bezogen auf Startzeitpunkt ohne Unsicherheiten

$$KW_0 = -K_0 + (A - E) \cdot \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T}$$

K_0	Anfangsinvestition
A	Auszahlungen
E	Einzahlungen
i	Zinssatz
T	Nutzungsdauer

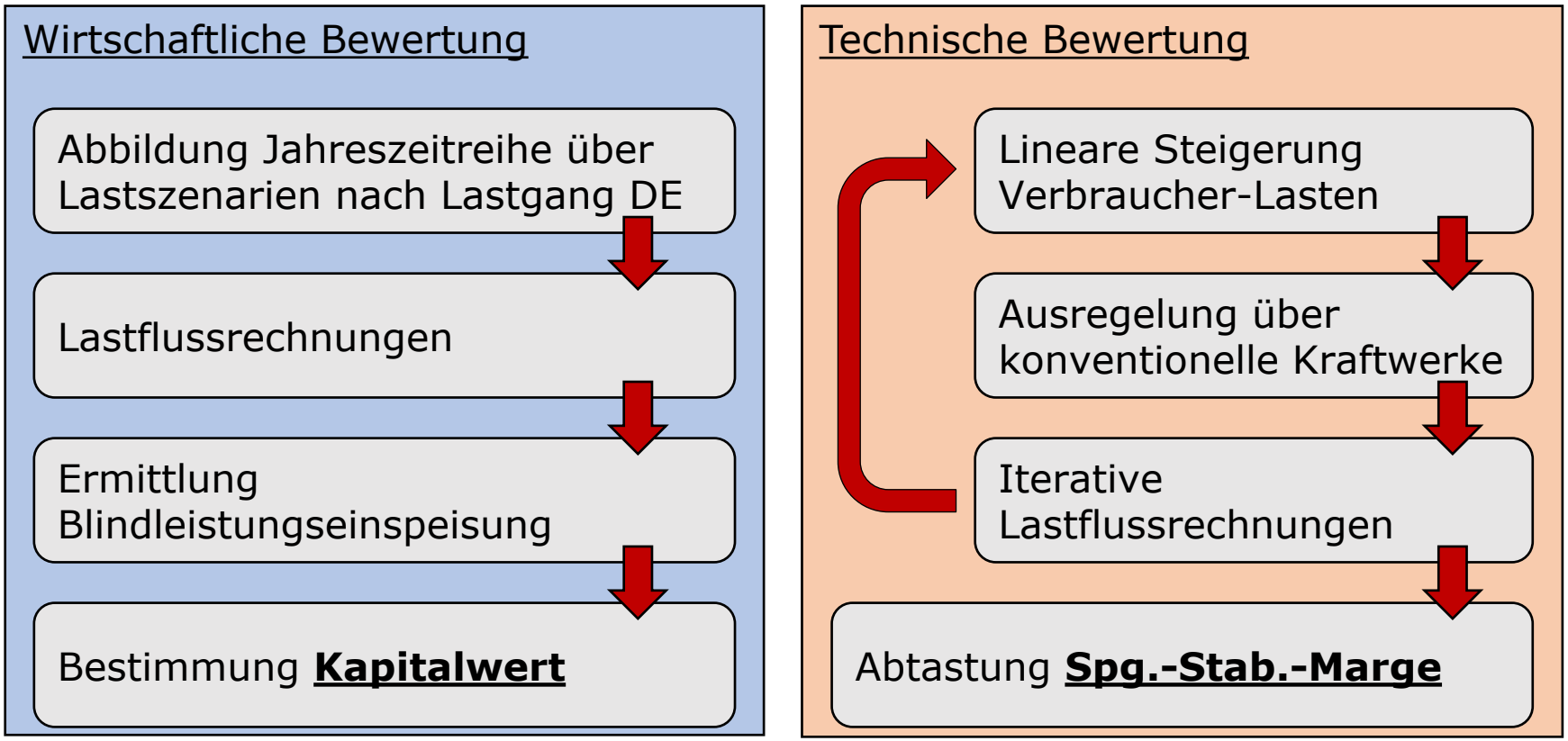
Interessant im Rahmen der Untersuchung: Auszahlungen bzw. Vergütungen

- Schweizer Modell - Generell gültige Vergütung festgelegt: $k_{\mathrm{CH}} = 2{,}59\ €/\mathrm{Mvarh}$
- Deutsches Modell - TAR (kostenlos), zusätzlich bilateral: $k_{\mathrm{DE}} = 0{,}35\ €/\mathrm{Mvarh}$

Bewertungsmethodik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

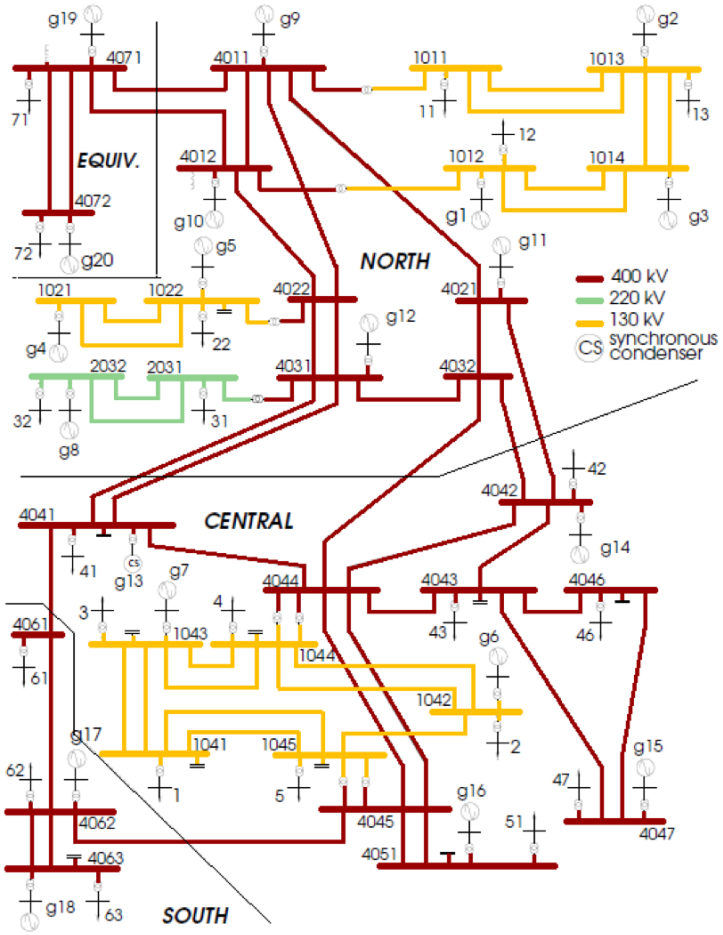
Berechnung von wirtschaftlichen & technischen Bewertungskriterium pro Iteration:



Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

Verwendetes Netzmodell

- Verwendung Nordic32-Test-System
- Vier Regionen, die über lange Übertragungsleitungen verbunden sind
- Häufige Benutzung in Studien zur Spannungsstabilität
- Summierte Verbraucherlast $P_{\mathrm{L}} = 11{,}06\,\mathrm{GW}$
- Weitergehende Informationen (Jahreshöchstlast, Erzeugungs- & Lastzeitreihen unbek.)
- Vernachlässigung von Stufenschaltern und bereits vorhandenen Kompensationsanlagen

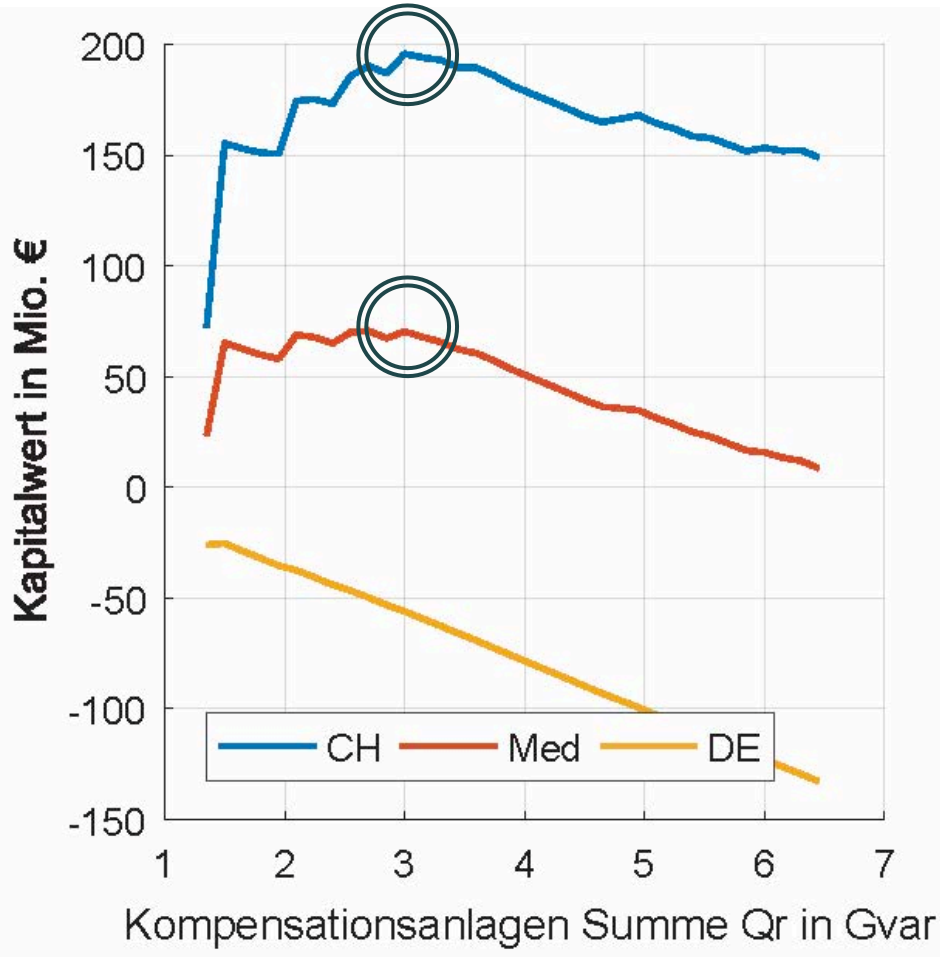


Untersuchung Wirtschaftlich

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Analyse der Kapitalwerte:

- Vergütung mit k_{DE} nicht wirtschaftlich
- Für Vergütung mit k_{CH} und k_{Med} ergibt sich wirtschaftlich optimaler Zubau von $\Delta Q_{\mathrm{r,Zubau}}^{\max(KW)} = 3\ \mathrm{Gvar}$
- Jeder Zubau darüber hinaus senkt Wirtschaftlichkeit für Investor
- Für ÜNB Vergütung mit k_{CH} nicht optimal, da verglichen mit k_{Med} gleicher Zubau aber höhere Kosten



Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

Untersuchung Technisch

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

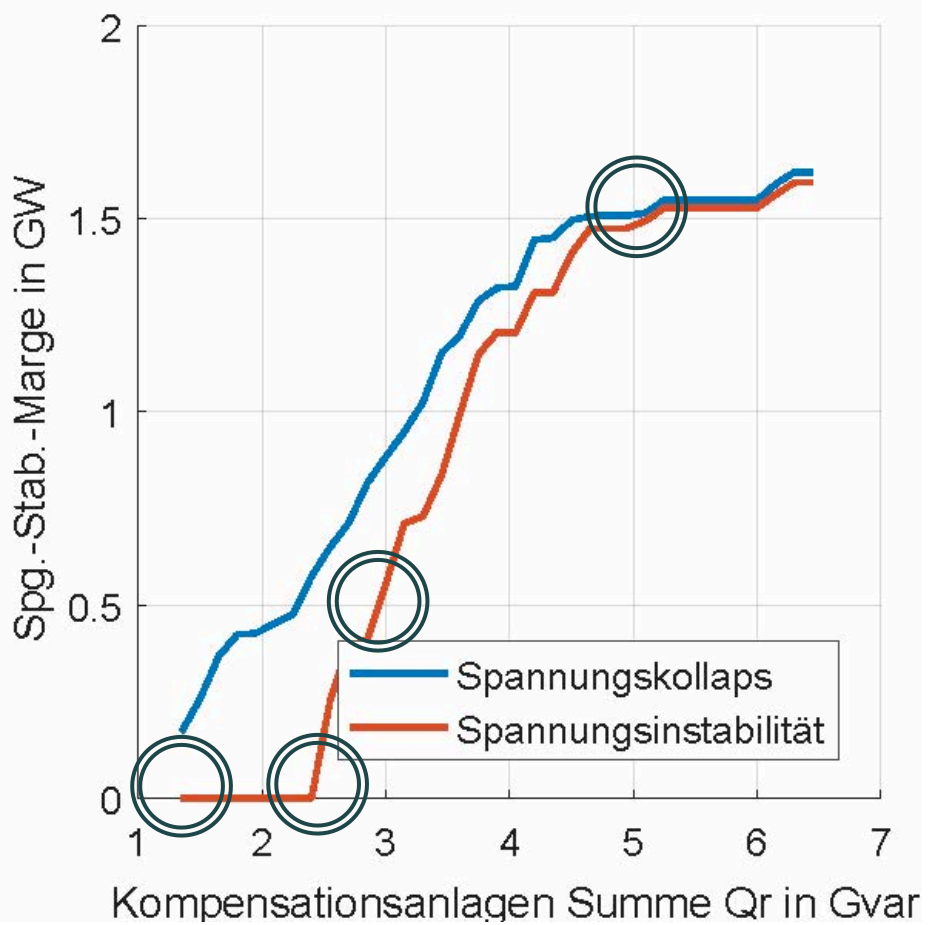
Analyse der Spg.-Stab.-Marge:

- Erzeugungsszenario erfordert $Q_{\mathrm{r,Zubau}} > 1{,}35\ \mathrm{Gvar}$, damit überhaupt Konvergenz erreicht wird
- Erst bei $Q_{\mathrm{r,Zubau}} > 2{,}4\ \mathrm{Gvar}$ wird

$$\Delta P_{\mathrm{SSM}} > 0\ \mathrm{GW}$$

- Für $Q_{\mathrm{r,Zubau}} > 4{,}6\ \mathrm{Gvar}$ rückt der Spg.-Kollaps sehr nahe an das Toleranzband
- Bei $\Delta Q_{\mathrm{r,Zubau}}^{\max(KW)} = 3\ \mathrm{Gvar}$ beträgt

$$\Delta P_{\mathrm{SSM}} = 0{,}55\ \mathrm{GW}$$



Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

Fazit & Ausblick

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Energiewende führt zu Änderungen hinsichtlich Blindleistungsbereitstellung im Übertragungsnetz → Alternative Konzepte und Technologien werden benötigt

- Vorstellung eines Bewertungskonzepts um technische und wirtschaftliche Auswirkungen einer Vergütung von Blindleistungseinspeisung zu vergleichen
  → Hier am Beispiel von Kompensationsanlagen

- Ergebnisse zeigen, dass…
  - Wahl der richtigen Vergütung entscheidende Rolle zukommt
  - Spg.-Stab.-Marge hängt stark vom Erzeugungs- und Lastszenario ab
  - ÜNB ausreichende Marge zu Spannungsinstabilität bewahren muss
  - Einbeziehung weiterer Betriebsmittel / Verteilnetze erscheint sinnvoll

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Florian Bennewitz
Institut für Elektrische Energiesysteme
Fachgebiet für Elektrische Energieversorgung
unter Einsatz Erneuerbarer Energien
Technische Universität Darmstadt
Landgraf-Georg-Str. 4
64283 Darmstadt
florian.bennewitz@e5.tu-darmstadt.de
0049 – (0)6151 – 16 24666

Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien

Lebenslauf F. Bennewitz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Florian Bennewitz hat 2013 sein Studium an der RWTH Aachen mit einem Abschluss als Master of Science abgeschlossen. Sein Studium führte ihn dabei neben der RWTH Aachen auch an die KTH Stockholm und während eines Praktikums zur Austrian Power Grid AG in Wien, wo er in der Netzplanung tätig war.

Seit Mai 2014 arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien an der Technischen Universität Darmstadt.

Seine Forschungsinteressen umfassen Fragestellungen hinsichtlich des stationären Betriebs und der statischen Stabilität zukünftiger Übertragungsnetzstrukturen im Rahmen der Energiewende. Dies umfasst auch den vermehrten Einsatz von Leistungselektronik im Allgemeinen und die Betriebsweise von HGÜ-Systemen im Speziellen.

Parameter der Bewertung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Berechnung Bewertungskenngrößen über Parameter:

Tabelle 1: Technische Parameter der Untersuchung

Bemessungsleistung Kompensationsanlagen	$Q_{\text{r,Komp}} = 150\,\text{Mvar}$
Anzahl schaltbarer Stufen	$n_{\text{Stufen,Komp}} = 6$
Schalttoleranzband der Kompensationsanlagen	$0,98\,\text{p.u.} \leq u_i \leq 1,05\,\text{p.u.}$

Tabelle 2: Wirtschaftliche Parameter der Untersuchung

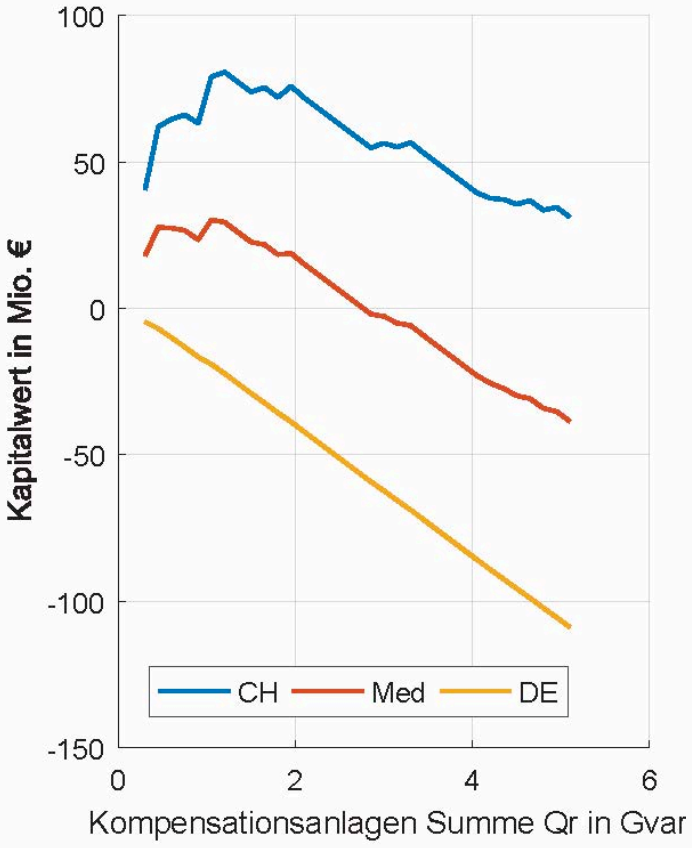
	Induktive Kompensation	Kapazitive Kompensation
Marktzins	$i_{\text{Zins}} = 10\,\%$	
Investitionskosten	$k_{\text{Invest,Ind}} = 30\,€/\text{kvar}$	$k_{\text{Invest,Kap}} = 19\,€/\text{kvar}$
Nutzungsdauer	$T_{\text{Nutzung}} = 35\,\text{a}$	
Betriebskosten	$k_{\text{B}} = 2\,\% \cdot k_{\text{Invest},i}$	
Wirkleistungsverluste	$P_{\text{Loss,Ind}} = 16\,\text{W/kvar}$	$P_{\text{Loss,Kap}} = 7\,\text{W/kvar}$
Verlustkosten	$k_{\text{Loss}} = 3,475\,c€/\text{kWh}$	
Vergütung	$p_{\text{Vergütung}} = [0,259 \quad 0,148 \quad 0,035]\,c€/\text{kvarh}$	

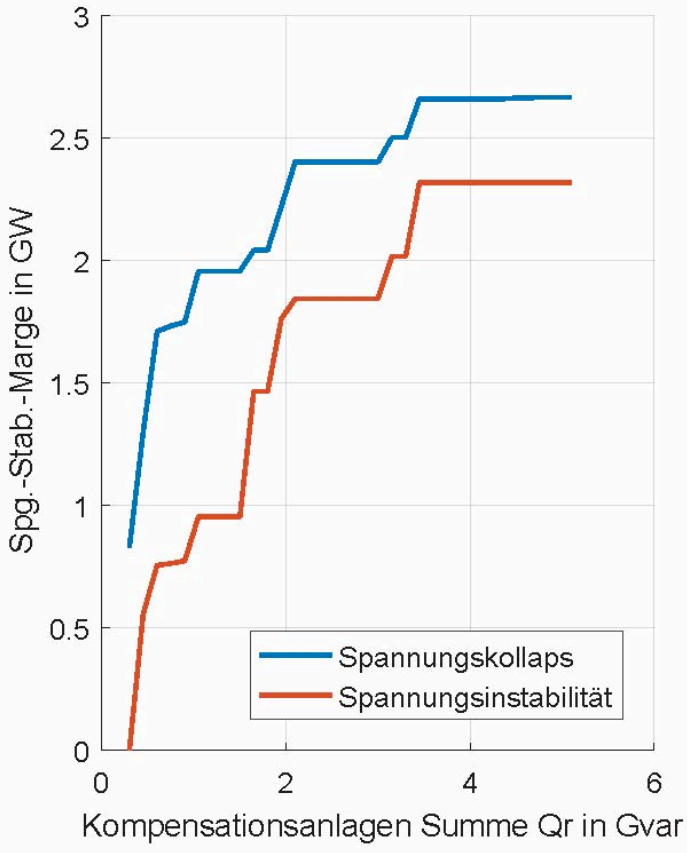
Untersuchungen Erz-Sz Nord

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Betrachtung des standartmäßig hinterlegten Erzeugungsszenario „Nord“:

- Wirtschaftlich: Erheblicher Einfluss d. Vergütung
- Technisch: Zubau Kompensation notwendig
- Antiparallele Entwicklung der Kenngrößen





Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien